

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Off nl gungsschrift  
①1 DE 3634328 A1

⑤1 Int. Cl. 4:  
H02P 7/46

②1 Aktenzeichen: P 36 34 328.5  
②2 Anmeldetag: 8. 10. 86  
④3 Offenlegungstag: 9. 4. 87

Behördeneigentum

DE 3634328 A1

⑤1 // H02J 3/46

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
08.10.85 JP P222812/85 05.02.86 JP P23162/86

⑦1 Anmelder:  
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP; The Kansai Electric  
Power Co., Inc., Osaka, JP

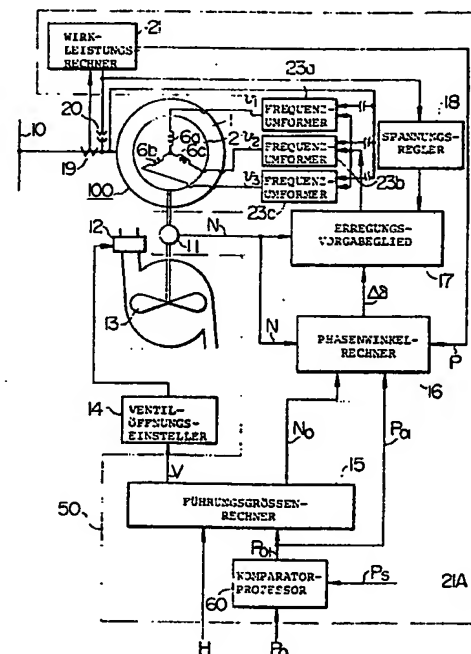
⑦4 Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,  
H., Dipl.-Ing., PAT.-ANW.; Schulz, R., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., PAT.- U. RECHTSANW., 8000 München

⑦2 Erfinder:  
Sugimoto, Osamu, Suita, JP; Kato, Tadaatsu,  
Takarazuka, JP; Sawa, Hidenori; Ito, Akio; Sugisaka,  
Hiroshi; Nohara, Haruo; Goto, Masuo, Hitachi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Steuersystem für einen Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps

Ein Steuersystem für die Steuerung der Last eines Wechselstrom-Motors/Generators (100) des Wechselstrom-Sekundärerregertyps, der parallel zu zumindest einer Synchronmaschine mit einem Leistungsnetz (10) verbunden ist, arbeitet folgendermaßen: Der Betrag der Erregung für die Sekundärwicklung (6a, 6b, 6c) des Wechselstrom-Motors/Generators (100) wird gesteuert, um eine Ausgabe entsprechend einer externen Führungsgröße ( $P_0$ ) zu erzeugen. Im Falle der Veränderung des Leistungsflusses zwischen dem Leistungsnetz und der Synchronmaschine wird die Ausgabe entsprechend dieser Veränderung korrigiert, und der Betrag der Sekundärerregung wird durch diese korrigierte Ausgabe ( $P_0$ ) gesteuert, wodurch die Veränderung des Leistungsflusses zwischen dem Leistungsnetz (10) und der Synchronmaschine durch den Wechselstrom-Motor/Generator (100) absorbiert wird. Dadurch wird das Außertrittfallen der Synchronmaschine unterbunden.



DE 3634328 A1

## Patentsprüche

1. Steuersystem für die Steuerung der Last eines Wechselstrom-Motors/Generators ( $G_1$ ) des Wechselstrom-Sekundärerregertyps, der parallel zu zumindest einer Synchronmaschine ( $G_2$ ) mit einem Leistungsnetz (10) verbunden ist, gekennzeichnet durch eine steuerbare Erregereinrichtung (17; 34), die die Erregung der Sekundär-Erregerentwicklung (6a, 6b, 6c) des Wechselstrom-Motors/Generators ( $G_1$ ) mit einem gesteuerten Phasenwinkel hervorruft; eine Phasenwinkel-Vorgabe/Steuereinrichtung (15, 16; 50, 38) für die Vorgabe des Phasenwinkels ( $\Delta\delta$ ;  $E_c$ ) der Sekundärerregung des Wechselstrom-Motors/Generators ( $G_1$ ) in Antwort auf eine extern angelegte Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ) und für eine derartige Steuerung der Erregereinrichtung (17; 34), daß die Erregung mit dem vorgegebenen Phasenwinkel ( $\Delta\delta$ ;  $E_c$ ) erfolgt; eine an einer Netzleitung, die die Synchronmaschine ( $G_2$ ) mit dem Leistungsnetz (10) verbindet, vorgesehene Einrichtung (21; 21A, 21B) für die Erfassung der durch die Leitung fließenden Leistung; und eine Korrekturereinrichtung (60; 60A) für die Korrektur der Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ), bevor diese an die Phasenwinkel-Vorgabe/Steuer-Einrichtung (15, 16; 50, 38) angelegt wird, entsprechend der Veränderung ( $\Delta P$ ) der durch die Leistungsfluß-Erfassungseinrichtung (21; 21A; 21B) erfaßten Leistung.
2. Steuersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturereinrichtung (60; 60A), wenn die erfaßte Leistungsveränderung ( $\Delta P$ ) einen vorgegebenen Wert übersteigt, die Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ) um den Betrag dieser Veränderung korrigiert.
3. Steuersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsfluß-Erfassungseinrichtung (21) eine durch die Netzleitung fließende Wirkleistung erfaßt, daß die Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ) eine von dem Wechselstrom-Motor/Generator ( $G_1$ ) zu erzeugende Wirkleistung angibt, und daß die Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ) entsprechend der Veränderung der erfaßten Wirkleistung korrigiert wird.
4. Steuersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgabeführungsgröße ( $P_0$ ) eine Wirkleistungs-Führungsgröße ( $P_0$ ) sowie eine Blindleistungs-Führungsgröße ( $Q_0$ ) umfaßt; daß die Phasenwinkel-Vorgabe/Steuer-Einrichtung eine Einrichtung (50A; 51), die auf Grundlage der Wirkleistungsführungsgröße ( $P_0$ ) und der Blindleistungsführungsgröße ( $Q_0$ ) die Wirk- und Blindkomponenten der Sekundärerregung unabhängig voneinander vorgibt, eine Einrichtung (40), die die so bestimmten Wirk- und Blindkomponenten kombiniert, sowie eine Einrichtung (41) aufweist, die den Phasenwinkel auf Grundlage der Ausgabe dieser Kombinationseinrichtung (40) bestimmt; und daß die Korrekturereinrichtung eine Einrichtung (60A), die die Wirkleistungs-Führungsgröße ( $P_0$ ) entsprechend der Veränderung der erfaßten Leistung korrigiert, sowie eine Einrichtung (70) aufweist, die die Blindleistungs-Führungsgröße ( $Q_0$ )

proportional zur Korrektur der Wirkleistungs-Führungsgröße ( $P_0$ ) korrigiert.

5. Steuersystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkleistungs-Korrekturereinrichtung (60A), wenn die Veränderung der erfaßten Leistung einen bestimmten Wert übersteigt, die Wirkleistungs-Führungsgröße ( $P_0$ ) um den Betrag dieser Veränderung korrigiert.

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Steuersystem für einen Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps und insbesondere ein Steuersystem für einen Wechselstrom-Motor/Generator des Typs, der für die Steuerung der Ausgabe des mit einem Wechselleistungsnetz verbundenen Wechselstrom-Motors/Generators entsprechend der Lastveränderung des Leistungsnetzes ausgelegt ist.

Bei einem herkömmlichen Wechselleistungskraftwerk, beispielsweise einem Pumpspeicherkraftwerk, liegen Probleme darin, daß es unmöglich ist, die Last während des Betriebs beim Hochpumpen zu regulieren, und daß sich der Systemwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Betrag der Leistungserzeugung oder der vom System beim Betrieb während der Leistungserzeugung bzw. des Hochpumpens benötigten Druckhöhe des Wasserspeichers verändert. Zur Lösung dieser Probleme wurde der Versuch unternommen, anstelle einer herkömmlichen Synchronmaschine einen Wechselstrom-Motor/Generator oder einen Induktions-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps zu verwenden, der für einen Betrieb mit veränderlicher Drehzahl geeignet ist.

Andererseits werden in einem typischen Wechselleistungsnetz eine Vielzahl von Synchronmaschinen parallel verwendet, und jede Synchronmaschine wird entsprechend den Lastbedingungen des Systems als ein Motor oder als ein Generator betrieben, um das System zu stabilisieren. Im Falle des Auftretens einer abrupten Veränderung der Last durch eine Panne oder ähnliches wird die Synchronmaschine durch diese Lastveränderung unmittelbar beeinflusst, was sich in einem Außertrittfall niederschlagen kann. Um dieses Außertrittfall zu verhindern, wurden bereits nach dem Stand der Technik verschiedene Maßnahmen ergriffen. Wie oben beschrieben, ist der Induktions-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps, der anstelle der Synchronmaschine in einem Pumpspeicherkraftwerk verwendet werden kann, aufgrund seiner strukturellen Eigenschaften frei von einem derartigen Außertrittfall. Wenn es möglich ist, zu verhindern, daß die Synchronmaschine außer Tritt fällt, indem die Lastveränderung des Leistungsnetzes durch den Induktions-Motor/Generator absorbiert wird, kann der mit der Pumpspeicher-Leistungserzeugungsanlage vorgesehene Induktions-Motor/Generator vorteilhaft für diesen Zweck eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung erfolgte unter Berücksichtigung der Tatsache, daß ein Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps aufgrund seiner strukturellen Eigenschaften nicht außer Tritt fällt.

Die generelle Aufgabe der Erfindung ist darin zu sehen, ein Steuersystem für einen Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps anzugeben, mit dem die dem Stand der Technik anhaftenden Nachteile überwunden werden. Insbesondere soll

ein derartiges Steuersystem geschaffen werden, bei dem die Ausgabe des Wechselstrom-Motors/Generators entsprechend der Veränderung der Last eines Leistungsnetzes, mit dem der Wechselstrom-Motor/Generator verbunden ist, so gesteuert wird, daß die Lastveränderung des Leistungsnetzes durch den Motor/Generator absorbiert wird, so daß das Außertrittfallen einer mit dem Leistungsnetz verbundenen Synchronmaschine unterbunden und die Stabilität des Leistungsnetzes verbessert wird.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit einem erfindungsgemäßen Steuersystem für einen Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps, das folgende Baugruppen aufweist: eine Einrichtung für die Korrektur einer Lastführungsgröße, die für die Steuerung der Ausgabe des Motors/Generators extern zugeführt wird, auf Grundlage der Veränderung des Leistungsflusses an einem bestimmten Punkt des mit dem Wechselstrom-Motor/Generator verbundenen Leistungsnetzes, eine Einrichtung für die Bestimmung des Betrages der Sekundärerregung des Wechselstrom-Motors/Generators auf Grundlage der korrigierten Lastführungsgröße sowie eine Einrichtung, um den so bestimmten Betrag der Sekundärerregung an die Sekundärwicklung des Wechselstrom-Motors/Generators anzulegen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen im einzelnen erläutert. In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 ein Diagramm einer Grundschaltung für die Steuerung eines Wechselstrom-Motors/Generators des Wechselstrom-Sekundärerregertyps;

Fig. 2 ein schematisches Diagramm eines Leistungsnetzes, auf das die vorliegende Erfindung Anwendung findet;

Fig. 3 ein Blockdiagramm eines Steuersystems nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 4 ein Diagramm des Aufbaus eines nach Fig. 3 vorgesehenen Komparator-Prozessors;

Fig. 5 ein Flußdiagramm zur Darstellung der Verarbeitung durch das System nach Fig. 4;

Fig. 6 ein schematisches Diagramm eines weiteren Leistungsnetzes, auf das die Erfindung Anwendung findet;

Fig. 7 eine graphische Darstellung, die die Verbesserung der Stabilität durch das erfindungsgemäße System verdeutlicht;

Fig. 8 ein Blockdiagramm eines Steuersystems nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 9 den Leistungsfluß in dem Leistungsnetz, auf das das Steuersystem nach Fig. 8 Anwendung findet;

Fig. 10 ein detailliertes Blockdiagramm des Prozessors im System nach Fig. 8;

Fig. 11 und 12 ein Diagramm zur Erläuterung der Wirkleistungs- bzw. der Blindleistungssteuerung; und

Fig. 13 ein Diagramm eines modifizierten Teils des Steuersystems nach Fig. 8.

Eine charakteristische Eigenschaft eines Wechselstrom-Motors/Generators des Wechselstrom-Sekundärerregertyps besteht darin, daß beim Betrieb als Motor seine Drehzahl und beim Betrieb als Generator seine Ausgangsfrequenz durch die Steuerung seiner Sekundärerregung leicht gesteuert werden können. Ein derartiger Wechselstrom-Motor/Generator enthält typischerweise eine Induktionsmaschine des Sekundärerregertyps und wird daher im folgenden als "Induktionsmaschine mit veränderlicher Drehzahl" oder kurz als

"Regelinduktionsmaschine" bezeichnet. Eine Grundschaltung für die Steuerung der Regelinduktionsmaschine ist in Fig. 1 gezeigt. Eine Induktionsmaschine 100 weist einen Ständer 1 mit Dreiphasen-Primärwicklungen 5a, 5b, 5c sowie einen Läufer 2 mit Dreiphasen-Sekundärwicklungen 6a, 6b, 6c auf.

Im folgenden soll  $f$  die Nennfrequenz,  $S$  den Schlupf und  $k$  eine durch den Aufbau der Induktionsmaschine vorgegebene Konstante bedeuten. Die Drehzahl des Läufers 2 ist dann als  $k(1-S)$  gegeben. Wenn die Sekundärwicklung des Läufers mit der Frequenz des Schlupfes  $S$  erregt wird, dreht sich daher das im Läufer 2 erzeugte Drehmagnetfeld mit einer Drehgeschwindigkeit vom Schlupf Null (Synchrondrehzahl), die gleich der Drehgeschwindigkeit des Drehmagnetfeldes des Ständers 1 ist.

Die Erregungssteuerung der Sekundärwicklungen 6a, 6b, 6c erfolgt durch eine Steuereinheit 50. Diese Steuereinheit 50 erzeugt entsprechend der Führungsgröße Erregerspannungen  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  und legt sie an die Sekundärwicklungen 6a, 6b, 6c an. Die Erregerspannungen  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  ergeben sich aus den Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= E \sin(2\pi f \cdot S + \delta_0 + \Delta\delta) \\ v_2 &= E \sin(2\pi f \cdot S + \delta_0 + \Delta\delta - 120^\circ) \\ v_3 &= E \sin(2\pi f \cdot S + \delta_0 + \Delta\delta - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

wobei  $E$  ein durch den Schlupf  $S$  und die Betriebsbedingungen der Regelinduktionsmaschine bestimmter Spannungswert,  $\delta_0$  der durch die Betriebsbedingungen der Regelinduktionsmaschine bestimmte Grundphasenwinkel und  $\Delta\delta$  der entsprechend der Lastführungsgröße der Induktionsmaschine bestimmte gesteuerte Phasenwinkel ist.

Durch Anlegen der obengenannten Sekundärerregung erzeugt die Ankerwicklung (Wicklungen 6a, 6b, 6c des Läufers 2) bei jeder beliebigen Drehgeschwindigkeit der Maschine notwendigerweise eine Ausgangsspannung mit der Netzfrequenz. Im Beispiel nach Fig. 1 ist das Drehfeld des Läufers 2 speziell als

$$k(1-S) + fS = f \quad (2)$$

gegeben, d. h., daß die Frequenz des erzeugten Drehmagnetfeldes unabhängig vom Schlupf  $S$  immer die Netzfrequenz ist.

Im folgenden wird die Steuerung der Sekundärerregung für den Betrieb der Regelinduktionsmaschine erläutert, um unter Ausnutzung der oben beschriebenen Eigenschaften der Regelinduktionsmaschine die Lastveränderung im Leistungsnetz zu absorbieren. Bei der folgenden Beschreibung wird davon ausgegangen, daß die Regelinduktionsmaschine ein Wasserturbinen-Generator in einem mit demselben Leistungsnetz verbundenen Pumpspeicherkraftwerk ist. Die Regelinduktionsmaschine ist jedoch nicht auf diese Ausführungsform beschränkt.

Fig. 2 zeigt ein Schaltbild des Systems, angewandt auf ein Energieübertragungssystem mit zwei Netzen (Busen)  $B_1$ ,  $B_2$ , die miteinander durch Übertragungsleitungen  $L_1$  und  $L_2$  verbunden sind. Das Netz  $B_1$  weist eine Synchronmaschine  $G_2$  und eine Regelinduktionsmaschine  $G_1$  auf, die nahe beieinander angeschlossen sind, während das Netz  $B_2$  eine damit gekoppelte Synchronmaschine  $G_3$  aufweist. In der Übertragungsleitung  $L_1$  sind auf Seite des Netzes  $B_1$  ein Stromumformer 19A sowie ein Unterbrecher bzw. Leistungsschalter 23 und auf Seite des Netzes  $B_2$  ein Stromumformer 19B sowie ein Lei-

stungsschalter 24 und daneben Schutzrelais 25 und 26 vorgesehen.

Die Regelinduktionsmaschine  $G_1$  entspricht der Induktionsmaschine 100, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist. Ein Wirkleistungs-Prozessor 21A berechnet die Wirkleistung für die Synchronmaschine  $G_2$  aus den durch Strom- bzw. Spannungsumformer 19C und 20C erfaßten Strom- bzw. Spannungswerten der Synchronmaschine  $G_2$ . Eine Steuereinheit 50 entspricht der Steuereinheit 50 in Fig. 1 und korrigiert auf Grundlage des Ausgangssignals des Wirkleistungs-Prozessors 21A den Wert der Ausgabeführungsgröße. Von einem Betriebs- oder Schaltterminal 30 werden an die Steuereinheit 50 die statische Druckhöhe  $H$  der Wasserkraft des Pumpspeicherkraftwerks sowie der Wert der Ausgabeführungsgröße (Wirkleistungsführungsgröße) angelegt.

Die Synchronmaschinen  $G_2$  und  $G_3$  arbeiten so, daß das Ungleichgewicht zwischen den Systemen eliminiert wird. Jede Maschine arbeitet als ein Motor oder als ein Generator, um elektrische Energie zu absorbieren oder zu erzeugen.

Es werde angenommen, daß an einem Punkt  $F$  in diesem Aufbau ein Erdungsdefekt aufgetreten ist. In herkömmlichen Systemen werden nach Auftreten eines Erdungsdefekts am Punkt  $F$  die Schutzrelais 25, 26 durch die Stromwandler bzw. Stromumformer 19A, 19B betätigt, um dadurch die Unterbrecher 23, 24 zu öffnen. Als Folge davon wird ein extremes Ungleichgewicht zwischen dem Eingang und dem Ausgang der Synchronmaschinen  $G_2$  und  $G_3$  hervorgerufen, so daß die Synchronmaschine  $G_2$  im Sinne einer Beschleunigung außer Tritt fällt, wenn Leistung von  $G_2$  an  $G_3$  zugeführt wird, d. h., wenn  $G_2$  als ein Generator arbeitet, oder im Sinne einer Verzögerung außer Tritt fällt, wenn Leistung von  $G_3$  an  $G_2$  zugeführt wird, d. h., wenn  $G_2$  als ein Motor arbeitet.

Um dieses Außertrittfallen zu verhindern, wird nach diesem Ausführungsbeispiel die normal abgegebene Wirkleistung der Synchronmaschine  $G_2$  über die Erfassungswerte des Stromumformers 19C und des Spannungsumformers 20C, die auf Seite der Synchronmaschine  $G_2$  angeordnet sind, am Prozessor 21A überwacht und die neben der Synchronmaschine  $G_2$  liegende Regelinduktionsmaschine  $G_1$  so gesteuert, daß sich die Ausgabe der Synchronmaschine vor und nach dem Defekt nicht unterscheidet. Als Folge davon wird das Außertrittfallen der Synchronmaschine  $G_2$  verhindert und das System stabilisiert. Bei diesem Prozeß erfolgt die Steuerung der Regelinduktionsmaschine  $G_1$  durch die Steuereinheit 50. Obwohl die obige Erläuterung für den Fall erfolgte, daß die Synchronmaschinen  $G_2$  und  $G_3$  für die Stabilisierung des Systems vorgesehen sind, kann diese Ausführungsform auch auf den Fall Anwendung finden, in dem die Synchronmaschinen  $G_2$  und  $G_3$  als normale Generatoren arbeiten. Eine normal als ein Generator arbeitende Synchronmaschine kann als ein Motor zum Absorbieren von Energie betrieben werden.

Im folgenden wird der Betrieb der Steuereinheit 50 erläutert.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm eines Generatorsteuersystems für ein Pumpspeicherkraftwerk. Eine Induktionsmaschine 100 hat die Funktion eines Generators, dessen Ausgabe einem Netz 10 zugeführt wird. Die sich drehende Welle des Läufers 2 der Induktionsmaschine 100 ist mit einer Wasserturbine 13 gekoppelt und wird durch diese angetrieben.

Ein Leit- oder Führungsventil 12 der Wasserturbine 13 wird durch einen Ventilöffnungseinsteller 14 gesteu-

ert, während die Erregung der Sekundärwicklungen 6a, 6b, 6c der Induktionsmaschine 100 durch Frequenzumformer 23a, 23b, 23c gesteuert wird, beispielsweise durch als Cyclokonverter bezeichnete Steuerumrichter.

Die Steuereinheit 50 steuert die Sekundärerregung der Induktionsmaschine  $G_1$  sowie die Öffnung des Leit- bzw. Reglerventils 12 der Wasserturbine so, daß der Betrieb des Systems mit einem hohen Wirkungsgrad erfolgt. Wenn für die Induktionsmaschine  $G_1$  ein Befehl gegeben wird, beispielsweise ihre Leistungserzeugung zu verringern, werden die Drehzahl und die Ventilöffnung auf bekannte Art berechnet, und der Betrieb wird entsprechend dem Ergebnis der Berechnung gesteuert, um die erzeugte Ausgangsleistung wie vorgegeben zu reduzieren. Die Abweichung in der Drehgeschwindigkeit der Induktionsmaschine  $G_1$  von ihrer Nenndrehgeschwindigkeit wird andererseits durch Steuerung der Schlupffrequenz der Erregung gesteuert, um dadurch die Nennfrequenz zu erzeugen.

Im einzelnen wird die Steuereinheit 50 mit der statischen Druckhöhe  $H$  und dem Wert der Ausgabeführungsgröße  $P_0$  vom Betriebsterminal 30 in Fig. 2 versorgt. Beim Normalbetrieb erzeugt der Komparator-Prozessor 60 ein Ausgangssignal  $P_{01}$ , das der Eingangsführungsgröße  $P_0$  entspricht ( $P_{01} = P_0$ ). Der Führungsgrößenprozessor 15 wird mit der statischen Druckhöhe  $H$  und dem Wert  $P_{01} = P_0$  der Ausgabeführungsgröße versorgt und berechnet auf bekannte Weise die Öffnungsführungsgröße  $V$  für das Leitventil sowie die Drehzahlführungsgröße  $N_0$ . Der Ventilöffnungseinsteller 14 steuert die Öffnung des Ventils 12 entsprechend der Öffnungsführungsgröße  $V$ . Der Führungsgrößenprozessor 15 an sich kann ein beliebiger bekannter Typ sein, auf dessen detaillierte Erläuterung hier verzichtet werden soll.

Der Komparator-Prozessor 60 ist entsprechend Fig. 4 aufgebaut. Eine Abtast- und Halteschaltung 61, eine sogenannte Sample-and-hold-Schaltung, wird mit einem Ausgangssignal des Wirkleistungsprozessors 21A versorgt, d. h. mit einem Signal  $P_S$ , das die Wirkleistung der Induktionsmaschine  $G_2$  angibt. Die Schaltung 61 tastet den Momentanwert von  $P_S$  synchron zu jedem Impuls eines vorgegebenen Taktsignals  $CL$  ab und hält diesen Wert bis zum Empfang des nächsten Impulses. Bei Erzeugung des nächsten Impulses wird der so gehaltene Wert von  $P_S$  in einem Register 62 gespeichert, und ein neuer Wert von  $P_S$  wird abgetastet und gehalten. Damit wird ein neuer Wert  $P_{S2}$  von  $P_S$ , der sich zum jeweiligen Abtastzeitpunkt ergibt, in der Sample-and-hold-Schaltung 61 gehalten, während der alte Wert  $P_{S1}$  von  $P_S$ , der sich beim vorhergehenden Abtastzeitpunkt ergab, im Register 62 gehalten wird. Ein Prozessor 63 führt die Verarbeitung entsprechend dem Flußdiagramm nach Fig. 5 durch. Im einzelnen wird die Veränderung  $\Delta P = P_{S1} - P_{S2}$  von  $P_S$  berechnet, es wird geprüft, ob der Absolutwert  $|\Delta P|$  von  $\Delta P$  kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert  $C$  ist, und, falls  $|\Delta P| \leq C$ , wird der Wert  $P_0$  direkt als der korrigierte Wert der Ausgabeführungsgröße  $P_{01}$  erzeugt. Ist jedoch  $|\Delta P| > C$ , wird der Ausdruck  $P_{01} = P_0 + \Delta P$  bestimmt und als der korrigierte Wert der Ausgabeführungsgröße erzeugt.

Ein in Fig. 3 gezeigter Phasenwinkelrechner 16 wird mit der erfaßten Wirkleistung  $P$  des Wirkleistungsrechners 21, dem korrigierten Wert  $P_{01}$  der Ausgabeführungsgröße, dem Wert  $N_0$  der Drehzahlführungsgröße und der erfaßten Drehzahl  $N$  versorgt, um entsprechend der unten gezeigten Gleichung (3) auf Grundlage der

Werte  $N_0$  und  $P_{01}$  den Phasenwinkel  $\Delta\delta$  der Sekundärwicklung zu errechnen. Die erfaßte Wirkleistung  $P$  wird vom Wirkleistungsrechner 21 auf Grundlage der von dem Stromumformer 19 bzw. dem Spannungsumformer 20 abgeleiteten erfaßten Strom- und Spannungswerte errechnet. Die Drehzahl  $N$  wird von einem Drehzahldektektor 11 erfaßt.

$$\Delta\delta = \int k_1(P - P_{01})dt + \int k_2(N - N_0)dt - K_1(P - P_{01})dt + K_2(N - N_0) \quad (3)$$

mit  $K_1, K_2, k_1, k_2$ : Konstanten.

Die Sekundärerregung für die Sekundärwicklungen 6a, 6b und 6c wird von der Primärseite der Induktionsmaschine 100 durch die Cyclokonverter 23a, 23b bzw. 23c zugeführt, die jeweils eine Wechselspannung mit gesteuerter Amplitude, Frequenz und Phase erzeugen. Die Cyclokonverter 23a, 23b und 23c werden durch ein Vorgabeglied 17 für den Betrag der Erregung so gesteuert, daß ihre Ausgangsgrößen entsprechende Frequenzen und Phasen haben, die durch die erfaßte Drehzahl  $N$  und den berechneten Phasenwinkel  $\Delta\delta$  vorgegeben sind, so daß die Cyclokonverter bzw. Frequenzumformer veranlaßt werden, jeweils Ausgangsspannungen zu erzeugen, wie sie durch die Gleichungen (1) gegeben sind. Der Spannungsregler 18 steuert den Pegel der Ausgangsspannungen der Cyclokonverter über das Erregungs-Vorgabeglied 17 so, daß eine Übereinstimmung der durch den Spannungsumformer 20 erfaßten Spannung mit einer Nennspannung des Leistungsnetzes erzielt wird. Die Steuerung der Cyclokonverter durch das Erregungs-Vorgabeglied 17 ist allgemein bekannt, so daß eine detaillierte Erläuterung der entsprechenden Schaltungsanordnung hier nicht nötig ist.

Im folgenden wird der Betrieb des Ausführungsbeispiels bei Verwendung mit dem System nach Fig. 2 erläutert. Es werde angenommen, daß ein Defekt am Punkt  $F$  der Übertragungsleitung  $L_1$  auftritt, wie in Fig. 2 gezeigt, wenn die Synchronmaschine  $G_2$  an  $G_3$  eine Wirkleistung liefert. Die Schutzrelais 25, 26 erfassen den Defekt durch die Stromumformer 19A, 19B und trennen die Leistungsübertragungsleitung  $L_1$  vom Netz, indem sie einen Unterbrechungsbefehl an die Unterbrecher 23, 24 geben. Ist die Ausgangsleistung vor dem Defekt  $P_{S1}$ , wird die Synchronmaschine  $G_2$  mit einer Turbineneingangsleistung  $P_m$  angetrieben, die im wesentlichen der Ausgangsleistung  $P_{S1}$  vor dem Defekt entspricht. Bei Auftreten des Defekts wird die Ausgabe der Synchronmaschine als Generator annähernd auf Null verringert, so daß ohne irgendeine Steuerung die Eingangsleistung  $P_m$  für die Beschleunigung der als Generator arbeitenden Synchronmaschine verwendet wird.

Nach diesem Ausführungsbeispiel wird die Wirkleistung der Synchronmaschine  $G_2$  überwacht und es wird entschieden, ob sich die Veränderung in der Wirkleistung der Synchronmaschine  $G_2$  in einem vorgegebenen zulässigen Bereich bewegt. Liegt die Veränderung außerhalb des zulässigen Bereiches, wird bei der Synchronmaschine  $G_2$  die Differenz  $\Delta P = (P_{S1} - P_{S2})$  zwischen der Ausgangsleistung  $P_{S1}$  vor dem Defekt und der Ausgangsleistung  $P_{S2}$  nach dem Defekt berechnet und diese Differenz  $\Delta P$  zur Korrektur der Führungsgröße  $P_0$  verwendet. Der Wert der Führungsgröße  $P_{01}$  nach der Korrektur ist durch folgende Gleichung (4) gegeben:

$$P_{01} = P_0 + \Delta P \quad (4)$$

Auf Grundlage dieser neuen Führungsgröße  $P_{01}$  wird durch den Rechner 16 die Berechnung nach Gleichung (3) durchgeführt, um einen korrigierten Wert von  $\Delta\delta$  zu erhalten. Dieser korrigierte Wert  $\Delta\delta$  wird dazu verwendet, die Phase der für die Induktionsmaschine erforderlichen Sekundärerregung zu bestimmen, um die Leistungsveränderung zu absorbieren, die aufgrund des Defekts im Netz auftrat und durch das Netz nicht absorbiert werden konnte. Dieser Steuerprozeß verhindert eine Verringerung in der Ausgangsleistung des Synchrongenerators  $G_2$  und daher seine Beschleunigung.

Fig. 7 zeigt in einem Diagramm einen Vergleich zwischen der Wirkung dieses Ausführungsbeispiels und der eines Systems nach dem Stand der Technik. Die Kurven in Fig. 7 geben Veränderungen des Phasenwinkels der Synchronmaschine  $G_2$  zum Zeitpunkt des Defekts an. Die Kurve  $a$  betrifft dieses Ausführungsbeispiel, die Kurve  $b$  den Stand der Technik. Wie Fig. 7 zu entnehmen wird, wird die Veränderung im Phasenwinkel nach vorliegendem Ausführungsbeispiel verringert.

Die Korrektur von  $\Delta\delta$  kann auch nach einer beliebigen geeigneten anderen Gleichung neben Gleichung (4) erfolgen, die unter Berücksichtigung der Stabilitätscharakteristika des Systems bestimmt wird.

Fig. 6 zeigt ein weiteres Leistungsnetz, auf das die Erfindung Anwendung findet. Das Netz  $B_1$  ist mit zwei Synchronmaschinen  $G_2, G_3$  und einer Regelinduktionsmaschine  $G_1$  verbunden, während das Netz  $B_2$  mit zwei Synchronmaschinen  $G_4, G_5$  verbunden ist. In dieser Konfiguration wird der Leistungsfluß eines Verbindungssystems  $L_3$  in der Nähe der Regelinduktionsmaschine  $G_1$  als Steuergröße für die Regelinduktionsmaschine  $G_1$  verwendet.

Es werde jetzt angenommen, daß der Leistungsfluß vom Netz  $B_1$  zum Netz  $B_2$  gerichtet ist, und daß an einem Punkt  $F$  ein Defekt aufgetreten ist. Bei Unterbrechung des Leistungsschalters 24A wird die Synchronmaschine  $G_5$  vom Netz getrennt, wodurch der Leistungsfluß von  $B_1$  nach  $B_2$  verringert wird. Ohne Steuerung würde als Folge davon aus ähnlichen Gründen, wie sie unter Bezugnahme auf Fig. 2 erläutert wurden, eine Beschleunigung und ein Außertrittfallen der Synchronmaschinen  $G_2, G_3$  erfolgen. Um dieses Außertrittfallen zu verhindern, wird die Induktionsmaschine  $G_1$  durch eine Steuereinheit 50A mit der Sekundärerregung gesteuert. Diese Steuereinheit 50A kann denselben Aufbau wie die Steuereinheit 50 in Fig. 3 haben.

Die im vorhergehenden Ausführungsbeispiel beschriebene Induktionsmaschine wird in einem Pumpspeicherkraftwerk normalerweise als ein Generator verwendet, ihre Verwendung ist jedoch nicht auf eine derartige Anwendung beschränkt. Nach vorliegender Erfindung wird kurz gesagt unter vorteilhafter Ausnutzung der Tatsache, daß ein Wechselstrom-Motor/Generator des Wechselstrom-Sekundärerregertyps nicht mit dem Phänomen des Außertrittfallens behaftet ist, das Leistungsungleichgewicht in einem Leistungsnetz durch den Wechselstrom-Motor/Generator des Sekundärerregertyps absorbiert, um dadurch die Systemstabilität zu verbessern. Im einzelnen wird die Differenz zwischen dem Leistungsbedarf an einem Regelpunkt und der Ausgangsleistung, die durch eine Synchronmaschine abgedeckt werden kann, als eine Leistungsführungsgröße für den Wechselstrom-Motor/Generator des obengenannten Typs verwendet. Dadurch wird der Betrag der Leistung, der nicht durch die Synchronmaschine abgedeckt werden kann, durch den Wechselstrom-Motor/Generator hervorgebracht, so daß die Synchronmaschi-

ne nicht mehr als einen vorgegebenen Betrag an Leistung hervorrufen muß, wodurch die Stabilität verbessert wird.

Nach obigem Ausführungsbeispiel wird die primäre Wirkleistung der Induktionsmaschine gesteuert, um die Veränderung der Wirkleistung des Leistungsnetzes zu absorbieren. Um den Leistungsfaktor des Leistungsnetzes zu verringern, ist es jedoch wünschenswert, nicht nur die Wirkleistung, sondern auch die Blindleistung zu steuern. Ein Beispiel eines Steuersystems für die Steuerung der Drehzahl und der primären Blindleistung eines Induktionsmotors vom Wechselstrom-Sekundärerregertyp ist in der am 21. November 1981 offengelegten japanischen Patentanmeldung JP-A-56-1 50 987 dargestellt. In diesem System ist jedoch die Steuerstabilität nicht hinreichend hoch, da die Steuerung der Drehzahl und des Leistungsfaktors einander störend überlagern. Obwohl dieses System auf einen Induktionsmotor vergleichsweise kleiner oder mittlerer Größe anwendbar ist, dessen Leistungssteuerung die Stabilität des Leistungsnetzes nicht beeinflusst, ist es schwierig, dieses Steuersystem mit einem befriedigenden Ergebnis für die Steuerung der Sekundärerregung eines Induktionsmotors/Generators für die Absorption der Schwankungen der Wirkleistung und der Blindleistung in einem Leistungsnetz anzuwenden, wie es nach vorliegender Erfindung erfolgt.

Nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung werden in einem System ähnlich dem in Fig. 2 gezeigten die Wirkleistung und die Blindleistung der Synchronmaschine  $G_2$  durch einen Leistungsprozessor 21A erfaßt, die Wirkleistungsführungsgröße und die Blindleistungsführungsgröße für die Induktionsmaschine  $G_1$  entsprechend der Veränderung der Wirkleistung korrigiert, und sowohl die mit der Wirkleistung verknüpfte Komponente (in Richtung der induzierten Spannung) als auch die mit der Blindleistung verknüpfte Komponente (in Richtung der Magnetflüsse) des Sekundärerregers, der dem Induktionsgenerator  $G_1$  zuzuführen ist, um eine Wirk- und Blindleistung entsprechend den korrigierten Wirk- und Blindleistungsführungsgrößen zu erzeugen, werden unabhängig voneinander bestimmt. Diese beiden Komponenten werden vektoriell kombiniert, um ein Muster des Sekundärerregers zu erzeugen, und der Sekundärerregersstrom wird nach diesem Muster gesteuert. Das zweite Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Fig. 8 bis 12 erläutert.

In Fig. 8 sind die Bauelemente, die denen nach Fig. 3 entsprechen, mit denselben Bezugsziffern wie in Fig. 3 bezeichnet. Daneben sind die Bauteile nicht dargestellt, die mit der Öffnungssteuerung für das Ventil der Wasserturbine 13 in Verbindung stehen, da diese Steuerung auf dieselbe Weise wie im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 erfolgt.

Der Primäranschluß eines Induktionsgenerators 1 mit gewickeltem Läufer, der mit der Wasserturbine 13 gekoppelt ist, ist über einen Unterbrecher 31 mit einem Leistungsnetz 10 verbunden. Die Sekundärwicklung des Generators 1 hat vier Anschlüsse mit einem Null- oder Mittelleiter und nimmt den Dreiphasen-Erregerstrom von den Steuerumrichtern bzw. Cyclokonvertern 34-1, 34-2, 34-3 auf. Die Cyclokonverter sind mit der Primärseite des Induktionsgenerators 1 über Cyclokonverter-Transformatoren 36-1, 36-2, 36-3 sowie einen Unterbrecher 32 verbunden. Die vom Induktionsgenerator erzeugte Wirkleistung  $P_L$  und Blindleistung  $Q_L$  werden durch einen Wirk-/Blindleistungs-Detektor 21B erfaßt,

wobei ein Spannungsumformer 20 und ein Stromumformer 19 mit der Primärseite des Generators verbunden sind. Ein Positionsdetektor 11A ist eine kleine Induktionsmaschine mit derselben Anzahl von Phasen und Polen wie der Generator 1, die direkt mit dem Generator 1 gekoppelt ist, um eine Ausgabe zu erzeugen, die bezüglich Amplitude und Phase der induzierten Sekundärspannung  $E_0$  des Generators 1 entspricht. Ein Erfassungssignal wird auf eine Referenzsignal-Verarbeitungsschaltung 10A gegeben, die auf Grundlage des Erfassungssignals ein Wirkkomponenten-Referenzsignal  $\cos \omega st$  mit derselben Phase und Schlupffrequenz wie die induzierte Sekundärspannung  $E_0$  sowie ein Blindkomponenten-Referenzsignal  $\sin \omega st$  (Komponente in Richtung der Magnetflüsse) erzeugt, das gegenüber dem Wirkkomponenten-Referenzsignal (für jede der drei Phasen sowohl der Wirk- als auch der Blindkomponenten) um  $\pi/2$  [rad] verzögert ist. Für jede Phase ist jeweils eine Cyclokonverter-Steuereinheit vorgesehen, wobei diese Steuereinheiten mit den Bezugsziffern 38-1, 38-2 bzw. 38-3 bezeichnet sind. Fig. 9 veranschaulicht graphisch den Fluß der erhaltenen Wirk- und Blindleistung, wenn der Generator 1 als ein mit dem Leistungsnetz 10 verbundener Generator angetrieben wird. Die Turbinenausgangsleistung  $P_T$  wird an den Induktionsgenerator 1 angelegt, und die Sekundärleistung  $P_2$  wird vom Steuerumrichter 34 der Sekundärwicklung zugeführt, um die Primärleistung  $P_1$  zu erzeugen. Da die Sekundärleistung  $P_2$  von der Primärseite des Generators 1 zugeführt wird, ist die an die Übertragungsleitung 10 gelieferte resultierende Wirkleistung  $P_L$  als Differenz zwischen der in der Primärseite des Generators erzeugten Wirkleistung  $P_1$  und der sekundären Wirkleistung  $P_2$  gegeben, wie unten gezeigt:

$$P_L = P_1 - P_2 \quad (5)$$

Die zum Netz 10 fließende resultierende Blindleistung  $Q_L$  ist wie die Wirkleistung  $P_L$  als Differenz zwischen der im Generator 1 erzeugten Blindkomponente  $Q_1$  und einer Komponente  $Q_2$  gegeben, die vom Steuerumrichter verbraucht wird:

$$Q_L = Q_1 - Q_2 \quad (6)$$

Die von der zentralen Lastverteilungsstation zum Kraftwerk gegebene Leistungsführungsgröße gibt den vom System angeforderten Betrag der Leistung an. Ein Leistungswertumformer 21B ist vorgesehen, um die resultierende Wirkleistung  $P_L$  sowie die resultierende Blindleistung  $Q_L$  zu erfassen, die dem Netz 10 tatsächlich zugeführt werden.

Bei der Berechnung der Sekundärerregersstrom-Führungsgröße wird der Sekundärerregersstrom in zwei Komponenten aufgeteilt, eine in Richtung der Magnetflüsse, die andere in Richtung der induzierten Sekundärspannung, die zueinander eine Phasendifferenz von  $\omega/2$  [rad] haben. Von einem Wirkkomponenten-Prozessor 50A bzw. einem Blindkomponenten-Prozessor 51 werden unabhängig voneinander zwei Komponenten berechnet, und die sich ergebenden Rechenwerte werden durch eine Stromsteuereinheit vektoriell kombiniert, um dadurch ein Sekundärerregersstrommuster zu erzeugen. Auf Grundlage des so erhaltenen Sekundärerregersstrommusters werden die Steuerumrichter so gesteuert, daß sie an die Sekundärwicklungen eines Erregerstrom anlegen, der dem Erregungsmuster entspricht. Im einzelnen erzeugt die Sekundärstromkom-



ponente  $I_q$  in Richtung der induzierten Sekundärspannung senkrecht zur Richtung der Magnetflüsse  $\Phi$  im Zusammenwirken mit den Magnetflüssen ein Drehmoment. Dieses Drehmoment  $T$  ist als

$$T = \Phi \times I_q \quad (7)$$

gegeben. Wenn die Magnetflüsse konstant sind, ist das Drehmoment  $T$  proportional zu  $I_q$ . Bei einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  drückt sich die Beziehung zwischen dem Drehmoment  $T$  und der Wirkleistung  $P_L$  folgendermaßen aus:

$$P_L = \omega T \\ = \omega \times \Phi \times I_q \quad (8)$$

Es ist damit möglich, die Wirkleistung  $P_L$  durch Steuerung des Stromes  $I_q$  zu steuern. Die Blindleistung  $Q_L$  wird andererseits durch Steuerung des Stromes  $I_d$  in Richtung der Magnetflüsse gesteuert, der bezüglich der Komponente  $I_q$  in Richtung der induzierten Sekundärspannung eine Phasendifferenz von  $\pi/2$  [rad] hat. Ist die Wirkleistung konstant, wird die Phase des Primärstroms einfach durch Veränderung des Stromes  $I_d$  in Richtung der Magnetflüsse eingestellt, was es möglich macht, die Blindleistung zu steuern.

In diesem Ausführungsbeispiel werden die in der Induktionsmaschine erzeugten Werte der Wirk- und Blindleistung auch so gesteuert, daß sie im normalen Zustand mit den Führungsgrößen  $P_0$  bzw.  $Q_0$  zusammenfallen. In einem Fall, in dem eine Veränderung der Wirkleistungslast der Synchronmaschinen im Parallelbetrieb auftritt, wird die Wirkleistungs-Führungsgröße  $P_0$  durch den Komparator-Prozessor 60A auf dieselbe Weise wie im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 entsprechend der Veränderung der Wirkleistung auf  $P_{01}$  korrigiert. Die Blindleistungs-Führungsgröße  $Q_0$  wird andererseits im selben Verhältnis wie die Wirkleistungs-Führungsgröße  $P_0$  korrigiert. Das bedeutet, daß die Blindleistungs-Führungsgröße  $Q_0$  in einem Multiplikator 70 mit  $P_{01}/P_0$  multipliziert wird, wodurch man eine korrigierte Blindleistungs-Führungsgröße  $Q_{01} = Q_0 \cdot P_{01}/P_0$  erhält.

Entsprechend Fig. 8 bestimmt der Wirkkomponenten-Prozessor 50A die Wirkkomponente  $I_q$  des Sekundärstroms aus der Differenz zwischen der korrigierten Wirkleistungs-Führungsgröße  $P_{01}$  und der erfaßten Wirkleistung  $P_L$ . Auf ähnliche Weise bestimmt der Blindkomponenten-Prozessor 51 die Blindkomponente  $I_d$  des Sekundärstroms aus der Differenz zwischen der korrigierten Blindleistungs-Führungsgröße  $Q_{01}$  und der erfaßten Blindleistung  $Q_L$ . Wie in Fig. 10 gezeigt, enthalten die Prozessoren 50A und 51 jeweils ein Proportionalglied 50-1 bzw. 51-1, um eine Proportionalkomponente einer Stromdifferenz zu erhalten, die der Wirk- oder Blindleistungsdifferenz entspricht, ein Integrierglied 50-2 bzw. 51-2, um eine Integralkomponente der Stromdifferenz zu erhalten, sowie ein Addierglied 50-3 bzw. 51-3, um die Integralkomponente zu der Proportionalkomponente zu addieren, wodurch man die Stromkomponente  $I_q$  bzw.  $I_d$  erhält.

Die so erhaltenen Stromkomponenten  $I_q$  und  $I_d$  werden an die Steuereinheit 38 des Cyclokonverters 34 angelegt. Diese Steuereinheit 38 umfaßt die Steuereinheiten 38-1, 38-2, 38-3 mit verschiedener Phase, jedoch demselben Aufbau. Als ein Beispiel wird die Steuereinheit 38-3 erläutert. Die Steuereinheit umfaßt ein Kombinierglied 40, eine Stromsteuereinheit 41 sowie einen Phasenschieber 42. Das Kombinierglied 40 ist entspre-

chend Fig. 10 aufgebaut und arbeitet so, daß die durch den Wirkkomponenten-Prozessor 50A und den Blindkomponenten-Prozessor 51 bestimmte Wirkkomponente  $I_q$  bzw. Blindkomponente  $I_d$  mit den Werten  $\cos \omega st$  und  $\sin \omega st$ , die von der Referenzsignal-Verarbeitungsschaltung 10A erzeugt werden, verarbeitet werden, um ein Muster des Sekundärerregerstroms  $i_2^*$  zu erhalten, der durch folgende Gleichung gegeben ist:

$$i_2^* = I_q \cdot \cos \omega st + I_d \cdot \sin \omega st \\ = I_2 \cos(\omega st + \delta) \quad (9)$$

$$\text{mit } I_2 = I_d^2 + I_q^2 \quad (10)$$

$$\phi = -\tan^{-1} \frac{I_d}{I_q} \quad (11)$$

In vektorieller Schreibweise ist der Sekundärstrom  $I_2$  folgendermaßen gegeben:

$$I_2 = I_q + I_d$$

Das Primäräquivalent  $I_2'$  des Sekundärstroms  $I_2$  ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$I_2' = I_q' + I_d' \quad (12)$$

Die Stromsteuereinheit 41 bestimmt nach dem bekannten Prinzip der automatischen Stromregelung (automatic current regulation/ACR) den Zündsteuerwinkel  $E_c$  des Cyclokonverters auf Grundlage der Differenz zwischen dem auf oben beschriebene Weise bestimmten Sekundärstrom  $i_2^*$  und dem von einem Stromumformer CT erfaßten Eingangsstromwert  $i_2$  des Cyclokonverters. Der Phasenschieber 42 steuert andererseits die Zündung des Cyclokonverters durch den in der Stromsteuereinheit 41 bestimmten Zündsteuerwinkel  $E_c$ .

Unter Bezugnahme auf die Fig. 11 und 12 wird die Steuerung der Wirk- und der Blindleistung erläutert. Die Wirkkomponente ist durch einen Vektor in Richtung der induzierten Spannung  $E_0$  ( $\cos \omega st$ , vgl. oben) und die Blindkomponente durch einen Vektor in Richtung der Magnetflüsse  $\Phi$  ( $\sin \omega st$ , vgl. oben) angegeben. Die Blindkomponente  $I_d$  nimmt dieselbe Phase wie der Erregerstrom an. Damit drückt sich der Primärstrom  $I_1$  nach folgender Gleichung (13) aus:

$$I_1 = I_0 + I_2' \\ = I_0' + (I_0 + I_d') \quad (13)$$

Fig. 11 zeigt die Art, auf die die Steuerung der Wirkleistung erfolgt. Wird die Vektorkomponente in Richtung der Magnetflüsse konstant auf  $I_0 = (I_0 + I_d')$  gehalten, kann das Drehmoment oder die Wirkleistung entsprechend Gleichung (7) verändert werden, indem der Strm  $I_d'$  durch die Wirkleistungssteuerung verändert wird. Fig. 12 zeigt die Art, auf die die Blindleistung gesteuert wird. Ist die Wirkkomponente des Sekundärstroms konstant, kann die Induktionsmaschine wahlweise mit voreilender Phase oder mit nacheilender Phase betrieben werden, indem die Blindkomponente  $I_d(I_d')$  des Sekundärstroms durch die Blindleistungssteuerung gesteuert wird.

Obwohl mit dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel insoweit sehr befriedigende Ergebnisse erzielt werden, als die Last des Induktionsgenerators eingestellt wird, um eine abrupte Lastveränderung im Leistungsnetz unter normalen Betriebsbedingungen zu ab-

sorbieren, liegt ein gewisses Problem in der parallelen Einfügung der Induktionsmaschine in das Leistungsnetz. Bei paralleler Einfügung wird die Induktionsmaschine durch die Wasserturbine in Gang gesetzt und auf die normale Drehzahl beschleunigt, gefolgt von einem Spannungsanstieg mit der Erregung, während der Unterbrecher 31 ausgeschaltet und der Unterbrecher 32 eingeschaltet ist. Unter einer solchen Betriebsbedingung gibt es jedoch mit Ausnahme der von den Cyclokonvertern für die Sekundärerregung zugeführten Leistung keinen Leistungsfluß, so daß die Wirkleistung im wesentlichen Null und die Blindleistung im wesentlichen gleich der Blindkomponente der Cyclokonverter ist. Als Folge davon geht die Spannungssteuerfunktion verloren, wodurch ein Spannungsanstieg unmöglich gemacht wird. Um dieses Problem zu vermeiden, sind einerseits Leistungsumformer 71, 72 für die Erfassung der Spannung  $V_{go}$  des Leistungsnetzes und der Primärspannung  $V$  der Induktionsmaschine 1 eingefügt, wie in Fig. 8 mit gestrichelten Linien dargestellt, und andererseits der Wirkkomponenten-Prozessor 50 sowie der Blindkomponenten-Prozessor 51 entsprechend Fig. 13 modifiziert. Danach schalten Umschalter 73, 74 auf EIN und AUS, wenn der Unterbrecher 31 auf EIN bzw. AUS schaltet. Mit dem Blindkomponenten-Prozessor 51 ist auf die in Fig. 13 gezeigte Art ein Spannungs-Einstellprozessor 75 verbunden. Vor der Paralleleinfügung der Induktionsmaschine in das Leistungsnetz, d. h. unter der Bedingung, daß der Unterbrecher 31 ausgeschaltet ist, wird der Schalter 73 auf AUS gestellt, so daß die an das Kombinierglied 40 angelegte Wirkkomponente  $I_q$  Null ist. Der Blindkomponenten-Prozessor 51 wird andererseits statt mit der Eingangsgröße  $Q_{01} - Q_L$  für den Normalbetrieb vom Spannungs-Steuerprozessor 75 mit der Größe  $(V_{go} - V)$  versorgt, da der Schalter 74 auf AUS steht. Das Kombinierglied 40 erzeugt daher ein Erregerstrommuster, wie es notwendig ist, um eine Übereinstimmung der Primärspannung  $V$  der Induktionsmaschine mit der Spannung  $V_{go}$  des Leistungsnetzes zu erzielen. Diese Baugruppe hat daher die Funktion eines normalen automatischen Spannungsregelgliedes (automatic voltage regulator/AVR). Unter dieser Bedingung ist der Spannungsphase des Generators  $1 \pi/2$  [rad] bezüglich der Phase der Magnetflüsse  $\Phi$ , da der Sekundärerregerstrom  $I_2$  im wesentlichen nur eine Komponente in Richtung der Magnetflüsse  $\Phi$  hat. Diese Phase entspricht der der induzierten Spannung  $E_0$  am Positionsdetektor 11A. Die Spannung des Leistungsnetzes befindet sich in anderen Worten in Phase mit der Anschlußspannung des Generators 1, wodurch keine Synchronisierereinrichtung benötigt wird, wie sie für die parallele Einfügung des herkömmlichen Synchrongenerators notwendig ist.

Unter normalen Arbeitsbedingungen mit eingeschaltetem Unterbrecher 3 haben die Spannung  $V_{go}$  des Leistungsnetzes und die Anschlußspannung  $V$  des Generators 1 folgende Beziehung:

$$V_{go} = V \quad (14)$$

Die Ausgangsgröße des Spannungs-Steuerprozessors 75 wird damit vernachlässigbar.



- Leerseite -

3634328

Nummer:

36 34 328

Int. Cl.4:

H 02 P 7/46

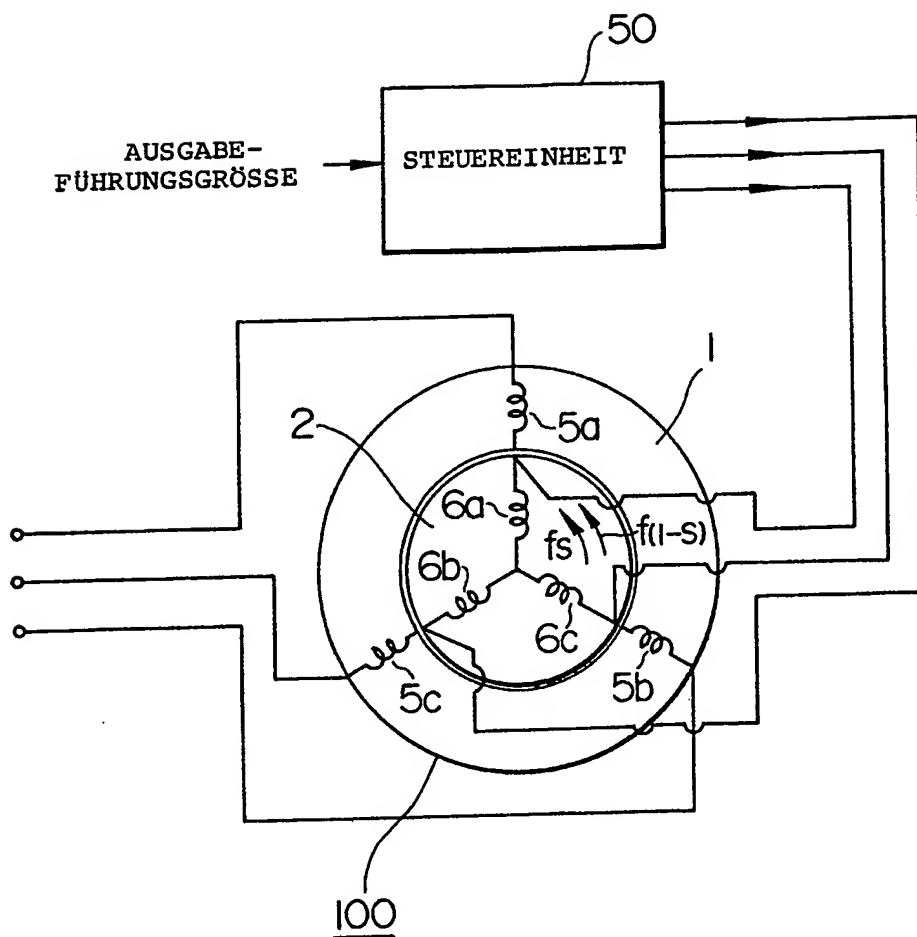
Anmeld tag:

8. Oktober 1986

Offenlegungstag:

9. April 1987

FIG. 1



ORIGINAL INSPECTED

3634328

FIG. 2

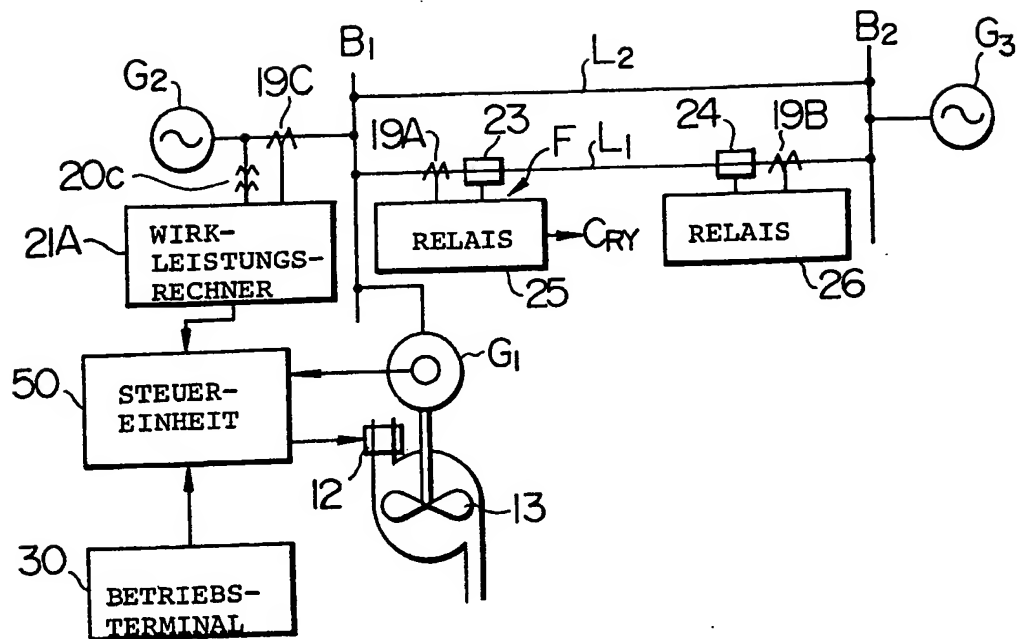


FIG. 4

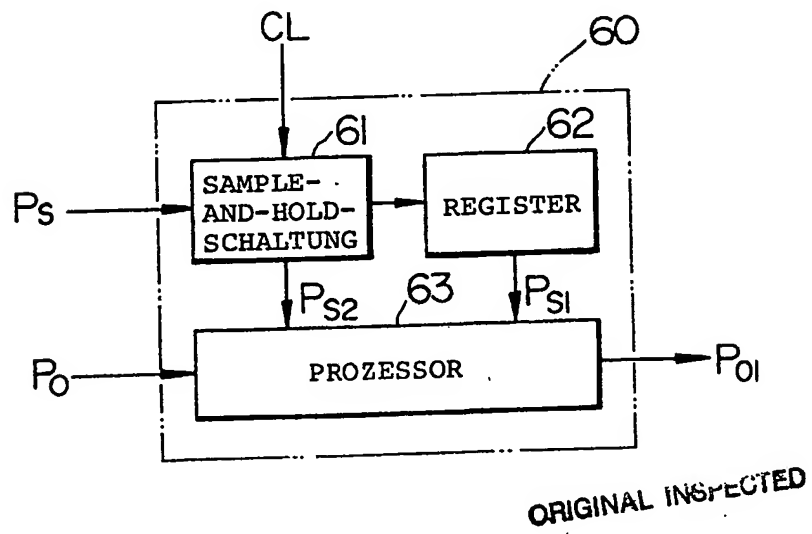
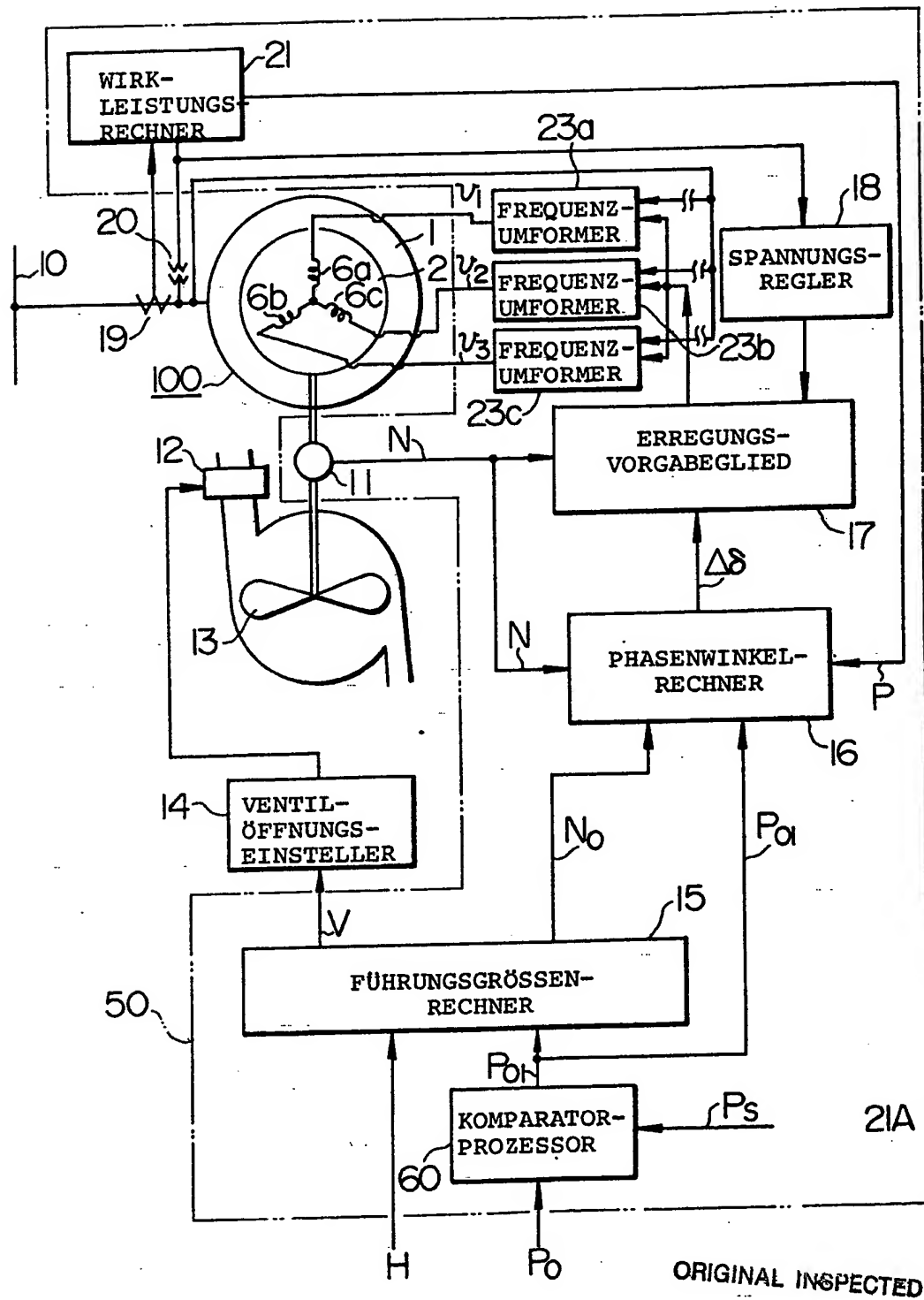


FIG. 3



3634328

FIG. 5

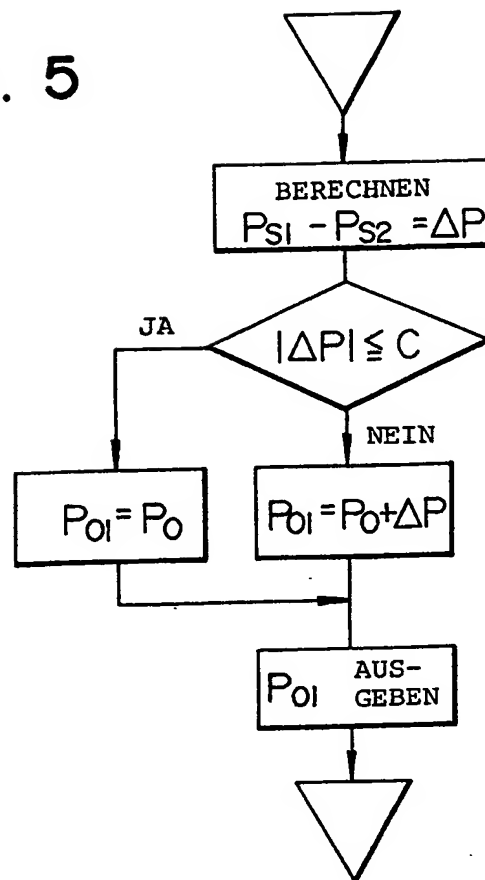
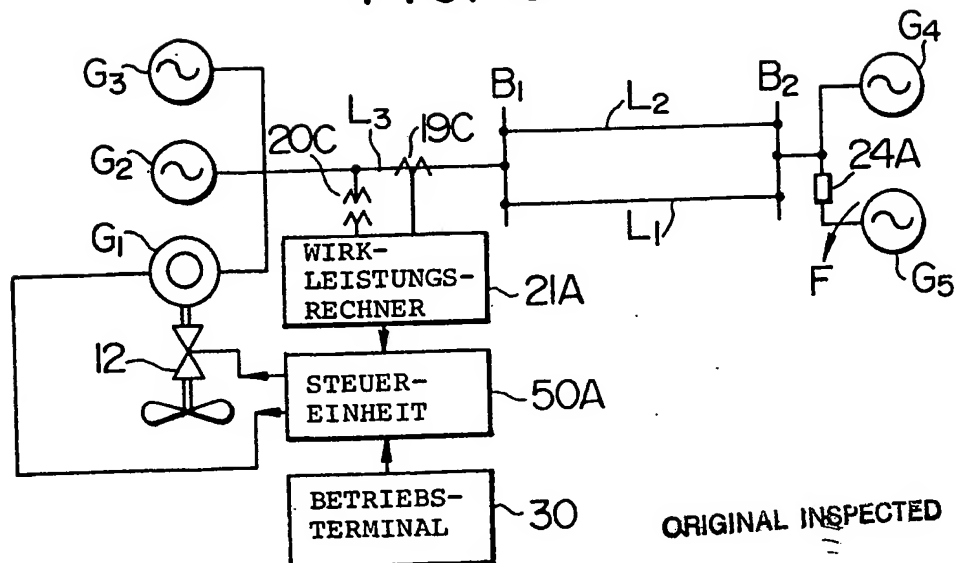


FIG. 6



ORIGINAL INSPECTED

3634328

FIG. 7

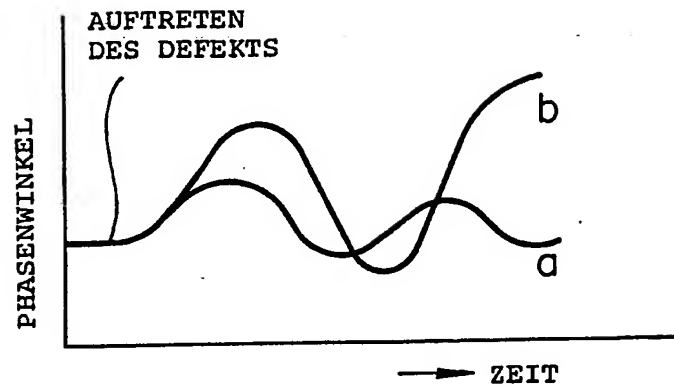
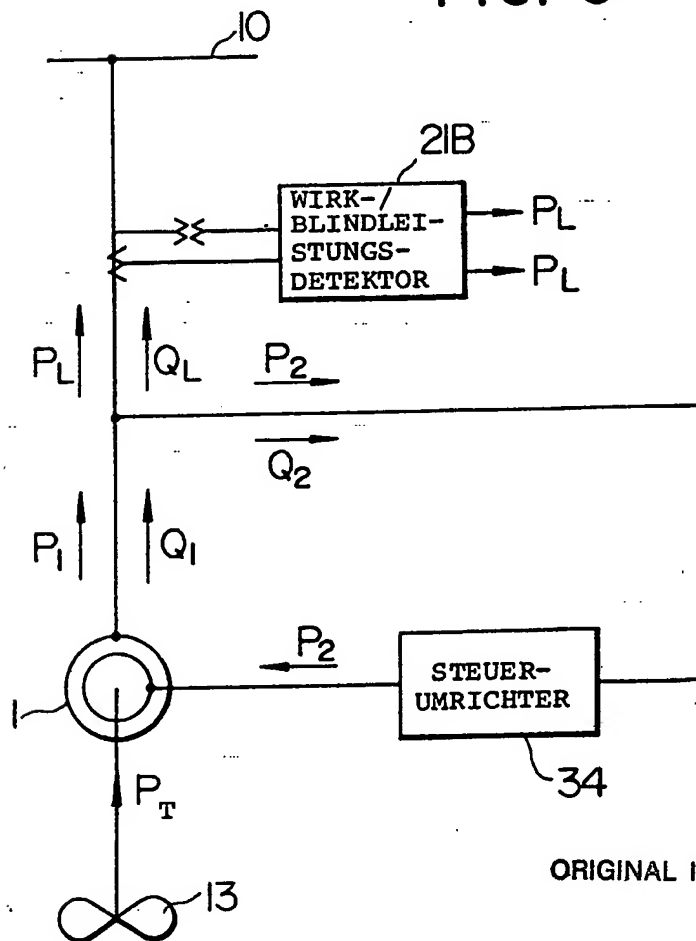


FIG. 9

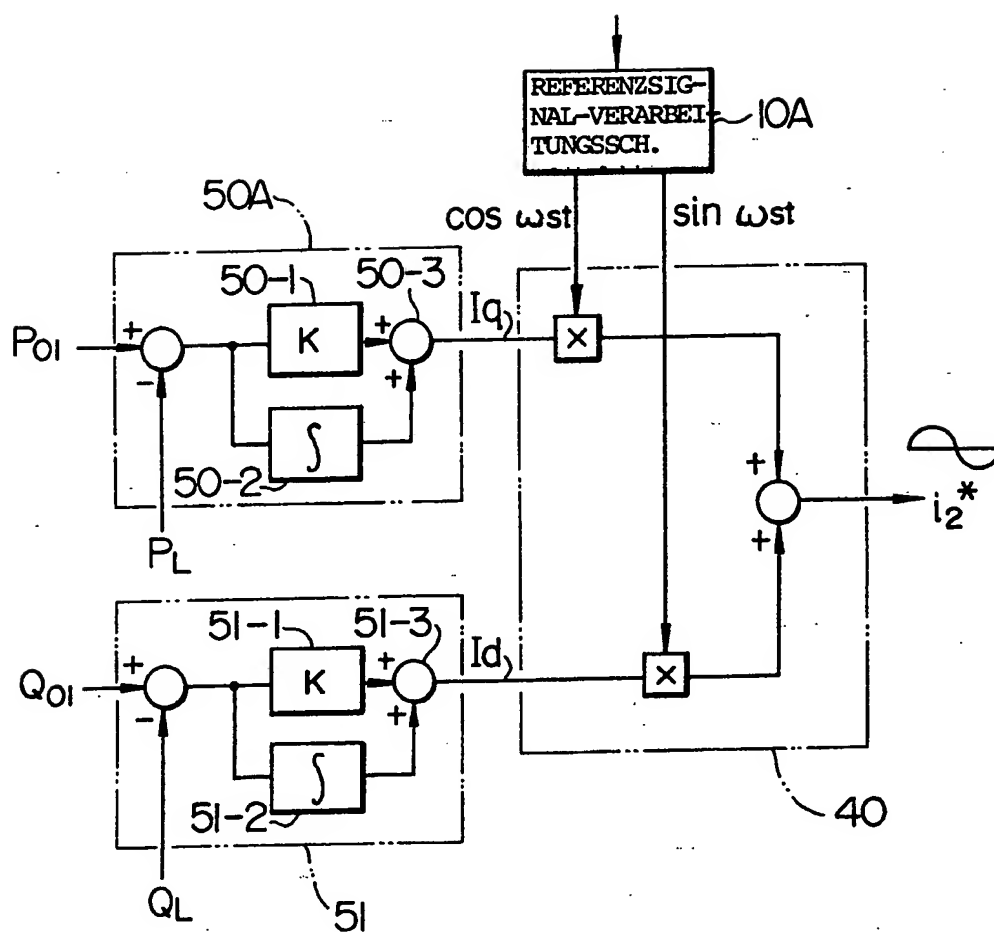


ORIGINAL INSPECTED





FIG. 10



ORIGINAL INSPECTED

3634328

FIG. 11

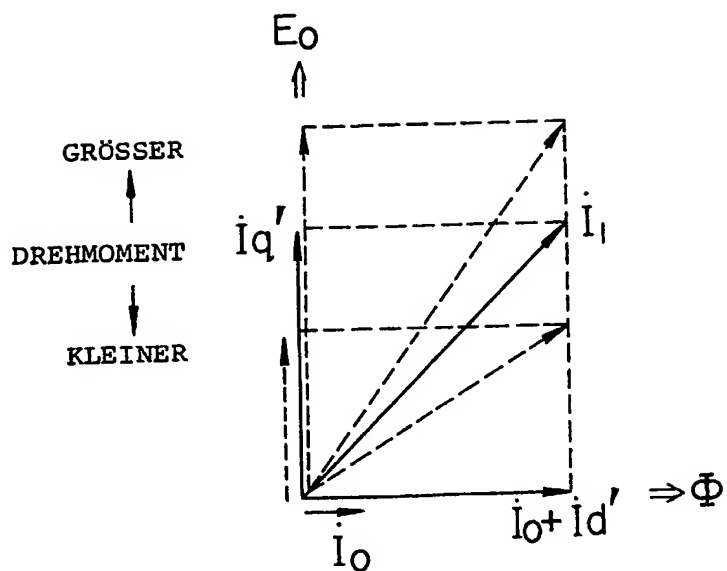
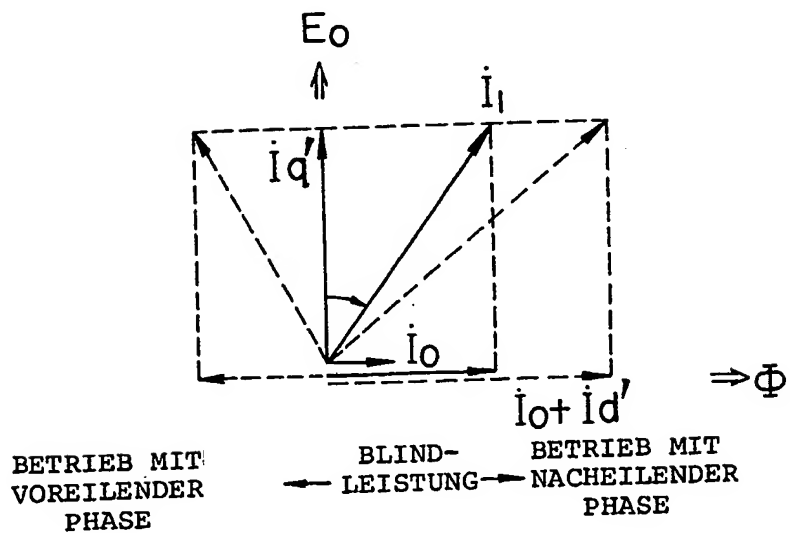


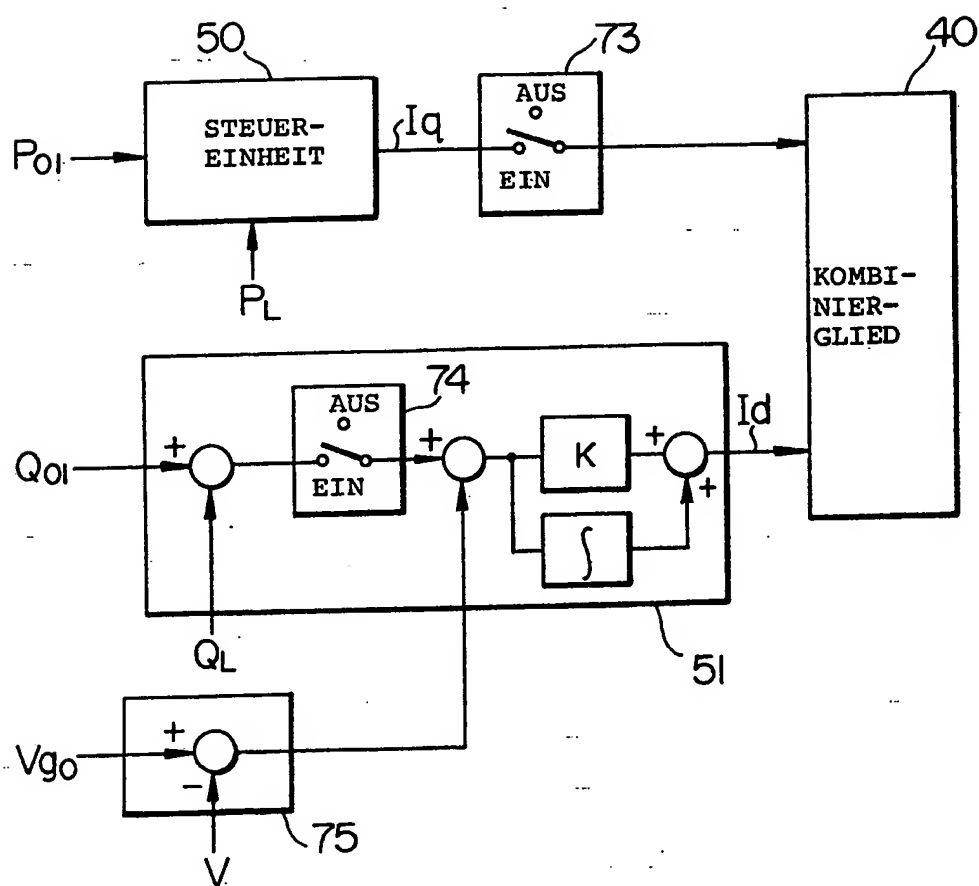
FIG. 12



ORIGINAL INSPECTED

3634328

FIG. 13



ORIGINAL INSPECTED